

143-679



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 01 732 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 L 5/16**  
G 01 L 1/04  
G 01 L 1/22

②① Aktenzeichen: P 41 01 732.3  
②② Anmeldetag: 22. 1. 91  
④③ Offenlegungstag: 23. 7. 92

DE 4101732 A1

⑦① Anmelder:  
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 7500  
Karlsruhe, DE

⑦② Erfinder:  
Droll, Hubert, 7513 Stutensee, DE; Lawo, Michael,  
Dr., 7515 Linkenheim, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Kraft- Momenten-Sensor

⑤⑦ Der erfindungsgemäße Kraft-Momenten-Sensor (KMS) hat eine elasto-mechanische-Kopplung zwischen einer Basis und einer Plattform, die aus standardisierten Komponenten aufgebaut ist. Nach dem Austausch einer solchen Komponente gegen eine gleichartig neue ist eine Eichung des gesamten Sensors nicht erforderlich. Der modulare Aufbau macht den KMS definiert. Durch geeignete Wahl der Federkonstanten einer solchen Komponente zwischen Basis und Plattform kann der Kraft-Momenten-Sensor steifer oder weicher ausgeführt werden.  
Der Aufbau des modularen Kraft-Momenten-Sensors erlaubt die rechnerische Herleitung der Koppelmatrix C zwischen einer beliebigen äußeren Kraft und einem beliebigen äußeren Moment auf die Platten und der Längenänderung in den Stäben. Eine Eichung mit Normkräften erübrigt sich.

DE 4101732 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Kraft-Momenten-Sensor (KMS), der aus einem Paar paralleler, im Ruhestand auf einer gemeinsamen Achse liegender Platten besteht, die elastomechanisch miteinander gekoppelt sind.

Mit einem derartigen Sensor werden Kräfte und Momente, die in beliebiger Richtung an der einen Platte angreifen, über die Messung der Verformungen an der elastomechanischen Kopplung ermittelt.

In der EP-PS 01 76 173 B1 wird eine Sensoranordnung zum Messen von drei zueinander senkrechten Kräften und drei zueinander senkrechten Momenten beschrieben. Die elastomechanische Kopplung ist ein dünnwandiges, zylindrisches Rohrstück, in dem bei Belastung mechanische Spannung bzw. Dehnung erzeugt wird. Über Dehnmeßstreifen (DMS) werden Meßsignale erzeugt, die in einem angeschlossenen Auswertesystem, zur Ermittlung der Kräfte ausgewertet werden.

Ein solcher KMS muß nach Fertigung einer Eichprozedur mit standardisierten Kräften unterworfen werden, um die eindeutige Beziehung zwischen Dehnung und Kraft zu ermitteln.

Ein KMS ähnlicher äußerer Gestalt wird in der EPA 02 61 071 beschrieben. Der Herstellungsprozeß ist aufwendig. Es sind schweiß- und spanabhebende Vorgänge notwendig. Der KMS ist für mehr oder weniger starke Belastungen einsetzbar. Eine Eichprozedur ist grundsätzlich vor dem ersten Einsatz nötig (siehe insbes. Sp. 7, Z. 13 bis Sp. 8, Z. 32).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die elastomechanische Kopplung eines Kraft-Momenten-Sensors (KMS) aus handelsüblichen Komponenten zusammenzusetzen, um ein standardisiertes bzw. modular zusammengesetztes System zu haben, bei dem Eichprozeduren entfallen können.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Die Unteransprüche geben eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Kraft-Momenten-Sensors (KMS) wieder.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen KMS besteht darin, daß die Basis und Plattform mit der geeigneten Konstruktion an den Lagerpunkten vorliegen, die elastomechanische Kopplung zwischen beiden allein durch Montage handelsüblicher gleichartiger Bauelemente erfolgt, d. h. der KMS hat eine modulare Bauweise. Materialformende oder materialabhebende Bearbeitungsprozesse entfallen. Die Koppelmatrix zwischen wirkender Kraft auf die Plattform und dadurch bewirkte Längenänderung in den Stäben wird rein rechnerisch aus der Geometrie des KMS ermittelt. Deswegen entfällt eine Eichung oder wird allenfalls zur Bestätigung noch durchgeführt.

Überlastung des KMS und damit Zerstörung eines oder mehrerer Stäbe läßt sich durch Austausch mit neuen gleichartigen Stäben einfach beheben, sofern die Basis und Plattform unbeschädigt sind. Eine Eichung entfällt auch in diesem Fall.

In den Unteransprüchen sind vorteilhafte bzw. zweckmäßige Ausgestaltungen der Stäbe angegeben. Weiter werden nützliche Dehnungsmeßeinrichtungen aufgeführt, insbesondere elektrische Methoden sowie eine Methode über Lichtintensitätsmessung.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsform erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 perspektive Ansicht des KMS;

Fig. 2 axiale Projektion des prinzipiellen Aufbaus;

Fig. 3 Stab als Bauteil;

Fig. 4 Prinzip des in die Ebene abgewinkelten Überlastschutzes;

Fig. 5 Stab mit Pleuelstangenform.

Fig. 1 zeigt den konstruktiven Aufbau des Kraft-Momenten-Sensors (KMS) 1, insbes. die elastomechanische Kopplung zwischen Basis 2 und Plattform 3 über Stäbe 4 als standardisierte Bauelemente mit vorgegebener elastischer Eigenschaft in Richtung ihrer Achse 8. Beide Platten 2, 3 sind eben, kreisförmig und liegen im unbelasteten Zustand oder bei reiner Druck- bzw. Zugbelastung auf einer gemeinsamen Achse  $R_z$ . Die Kopplung besteht aus sechs Stäben. Über Gelenkköpfe 6, je einer am axialen Ende eines Stabes 4 angebracht, wird die Kopplung zwischen der Basis 2 und Plattform 3 über darauf vorhandene Lagerpunkte  $B_i$ ,  $P_i$  geschaffen.

Auf der Basis 2 befinden sich auf einem konzentrischen Kreis zur Z-Achse gleichverteilt Lagerpunktpaare  $B_6$ ,  $B_1$ ;  $B_2$ ,  $B_3$ ;  $B_4$ ,  $B_5$  und entsprechend auf der Plattform Lagerpunktpaare  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ ,  $P_4$ ;  $P_5$ ,  $P_6$ . Ein erster Stab 4 verbindet den Lagerpunkt  $B_1$  mit  $P_1$ ; ein zweiter Lagerpunkt  $P_2$  mit  $B_2$ ; ... etc. ... und der letzte den Lagerpunkt  $P_6$  mit  $B_6$ . Gelenkköpfe 6 und Lagerpunkt  $B_i$  bzw.  $P_i$  werden jeweils über eine Achse 7 gekoppelt.

Die Stäbe 4 sind windschief zur Z-Achse der Basis 2 und der Plattform 3 angebracht. Da sie die gleiche Länge und elastische Eigenschaft haben, stehen die Platten 2, 3 des unbelasteten Sensors 1 in bestimmtem Abstand parallel zueinander.

Mit diesem Aufbau besitzen die Platten 2, 3 jeweils drei Lagerpunkte bzw. drei Lagerpunktpaare. Das System ist also eindeutig und stabil gelagert.

Es gibt nun folgende grundsätzliche Belastung des KMS 1. Es sei die Basis 2 unbeweglich eingespannt, die Plattform werde belastet:

1. Im kartesischen Koordinatensystem  $x$ ,  $y$ ,  $z$  wirke nur eine Druck- bzw. Zugkraft  $R_z$  in negativer bzw. positiver Z-Richtung auf die Plattform 3, dann werden sämtliche Stäbe 4 gleichartig um die Wegänderung 1 gestaucht bzw. gedehnt.

2. Es wirke nur ein Moment  $M_z$  um die Z-Achse, d. h. die Plattform 3 wird gegenüber der Basis 2 verdreht, dann erfahren gleichgerichtete Stäbe 4 eine gleiche Dehnung und die anderen eine gleiche Stauchung.

Für eine allgemeine Belastung ist wichtig, daß reine Axialbeanspruchungen ohne Biege- und Torsionswirkung

gen in den Stäben vorhanden sind. Hierzu sind die Gelenkköpfe an den Enden der Stäbe 4, damit der Stab 8 gegen die Lagerachse 7 momenten- und querkraftfrei geneigt werden kann.

Im unbelasteten Zustand oder bei reiner Druck- bzw. Zugbeanspruchung des KMS 1 haben Lagerachsen 7 und Stabachsen 8 einen jeweils gleichen unveränderten Winkel zueinander.

Der Vorteil des modularen Aufbaus bei KMS 1 zeigt sich deutlich bei Überlastung eines Stabes 4 oder einiger Stäbe 4. Der Austausch mit einem neuwertigen gleichen bzw. mit neuwertigen gleichen Stäben 4 stellt die vorgegebene elastomechanische Eigenschaft des KMS 1 wieder her, ohne daß eine Eichung notwendig wäre.

Gegen Überlast kann jedoch eine zusätzliche konstruktive Maßnahme am KMS 1 schützen. Ein an der Plattform 3 befestigter und zu ihr konzentrischer Zylinder 10 ragt in einen an der Basis 2 befestigten und zu ihr konzentrischen Zylinder 11 und bildet einen Ringspalt vorgegebener Breite und Tiefe. Auf dem äußeren Zylinder befinden sich gleichverteilt um den Umfang radiale Bohrungen 13, die beim unbelasteten KMS 1 gleichartig durch den inneren Zylinder 10 gehen. In den Bohrungen 13 am äußeren Zylinder 11 sind paßgenau radial nach innen Bolzen 14 eingelassen, die außerhalb des Zylinders 11 verjüngt sind und damit mit einem bestimmten Spielraum durch die Wand des inneren Zylinders 10 ragen. Bei zu starker Belastung der Plattform 3 stoßen diese Bolzen 14 am inneren Zylinder an und hemmen eine weitere Bewegung.

In Fig. 4 ist ein solcher Überlastschutz in der Ebene abgewickelt und prinzipiell dargestellt.

Fig. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines KMS 1 in der Draufsicht 3. Diese erleichtert das Verständnis und dient zur Herleitung der Koppelmatrix zwischen Stabkräften  $F_i$  in den Stäben 4 und Belastung der Plattform 3.

Basis 2 und Plattform 3 sind im unbelasteten Zustand auf das Blatt projiziert. Hieraus wird die Geometrie der Lagerpunktpaare und der Stabstrecken deutlich. Die drei Lagerpunktpaare  $B_6, B_1; B_2, B_3; B_4, B_5$  der Basis 2 befinden sich gleichverteilt auf einem Kreis 15 um die Achse der Basis 2, oder die drei Lagerschwerpunkte aus den drei Lagerpunktpaaren bilden ein gleichseitiges Dreieck  $D_B$ , und damit befindet sich sein Schwerpunkt auf der Basisachse. Dasselbe trifft für die Lagerpunktpaare  $P_1, P_2; P_3, P_4; P_5, P_6$  auf der Plattform 3 zu. Dort bilden die drei Lagerschwerpunkte ein gleichseitiges Dreieck  $D_P$ . Im unbelasteten Zustand des KMS 1 sind die Dreiecke  $D_B, D_P$  um  $60^\circ$  gegeneinander verdreht.

Über die Koppelmatrix C wird eine beliebige Kraft ( $R_x, R_y, R_z$ ) und ein beliebiges Moment  $M_x, M_y, M_z$  auf die Platten 2, 3 eindeutig auf die jeweils nur axial mögliche Kraft  $F_i$  in den Stäben 4 abgebildet. Da die elasto-mechanischen Eigenschaften der Stäbe 4 des KMS 1 gleich und bekannt sind, ist die Beziehung Kraft/Moment auf die Platten 2, 3 - Längenänderung in den Stäben 4 über die KMS-Geometrie rechnerisch herstellbar.

Es ist:

$$\begin{pmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{pmatrix}$$

Die mechanischen Eigenschaften eines Stabes und damit aller sechs Stäbe eines KMS 1 sind bekannt. Damit hat man über die Federkonstante D eines Stabes 4 den Zusammenhang zwischen Dehnung  $\Delta l_i$  des Stabes und Axialkraft, nämlich

$$F_i = D \cdot \Delta l_i$$

Die Koppelmatrix C hat die Gestalt, l ist die Stablänge:

$$C = l/l \begin{bmatrix} (r \cos A_{P_1} - r \cos A_{B_1}) & \dots & (r \cos A_{P_6} - r \cos A_{B_6}) \\ (r \sin A_{P_1} - r \sin A_{B_1}) & \dots & (r \sin A_{P_6} - r \sin A_{B_6}) \\ h & \dots & h \\ rh \sin A_{P_1} & \dots & rh \sin A_{P_6} \\ -rh \cos A_{P_1} & \dots & -rh \cos A_{P_6} \\ rr \sin (A_{P_1} - A_{B_1}) & \dots & rr \sin (A_{P_6} - A_{B_6}) \end{bmatrix}$$

Dabei ist r der Radius des Kreises um den Basis- bzw. Plattformmittelpunkt durch die Lagerpunkte  $B_i$  bzw.  $P_i$ . h ist der Abstand der beiden Kreise aber auch der beiden Dreiecke  $D_B$  und  $D_P$  zueinander. Der Winkel  $A_{B_i}$  und  $A_{P_i}$  entstehen folgendermaßen:

$$A_{B_1} = \Phi_B + \pi/6$$

$$A_{B_2} = 2/3 \pi - \Phi_B + \pi/6$$

$$A_{B_3} = 2/3 \pi + \Phi_B + \pi/6$$

$$A_{B_4} = -(2/3 \pi + \Phi_B) + \pi/6$$

$$A_{B_5} = -(2/3 \pi - \Phi_B) + \pi/6$$

$$A_{B_6} = -\Phi_B + \pi/6$$

$$A_{P_1} = \Phi_P + \pi/6$$

$$A_{P_2} = 2/3 \pi - \Phi_P + \pi/6$$

$$A_{P_3} = 2/3 \pi + \Phi_P + \pi/6$$

$$A_{P_4} = -(2/3 \pi + \Phi_P) + \pi/6$$

$$A_{P_5} = -(2/3 \pi - \Phi_P) + \pi/6$$

$$A_{P_6} = -\Phi_P + \pi/6$$

Fig. 3 zeigt einen einzelnen Stab 4 mit einer Kraftmeßdose 4a und zwei Gelenkköpfen 6. Zur Längen Anpassung ist auf der linken Seite ein zusätzliches Ausgleichsteil 16 eingefügt.

Kraftmeßdosen zur Messung von Zug-Druckkräften beruhen auf dem Prinzip der Messung einer Dehnung eines sich verformenden elastischen Teils mit Dehnmeßstreifen (DMS). Diese Aufnehmer sind für höhere Genauigkeitsklassen teuer. Eine Zerstörung der Aufnehmer stellt unter Umständen einen beträchtlichen wirtschaftlichen Verlust dar.

Fig. 5 ist ein pleuefförmiger Stab in der Draufsicht und mit einem Schnitt durch die Stabachse dargestellt. An den beiden Stabenden befinden sich die Gelenklager. Durch diese konstruktive Bauart nimmt der Stab nur Zug-/Druckkräfte auf. Diese werden über Dehnmeßstreifen, die definiert am Stab angebracht sind, aus der dort auftretenden Längenänderung bei einer Beanspruchung erfaßt.

Eine Alternative ist somit der Einsatz berührungslos arbeitender Abstandsmeßsysteme. Die Kraftmeßdose in dem Stab wird in diesem Fall durch einen elastischen Körper ersetzt. Ein parallel zum Stab gerichteter Abstandssensor mißt die Längenänderung. Für den Einsatz kommen verschiedene Systeme in Frage, zum Beispiel:

- a) ohmsche, induktive bzw. kapazitive Abstandsmeßsysteme
- b) Wirbelstromsensoren
- c) Glasfasersensoren im Einweg- oder Reflexbetrieb

Aus dieser Anwendung ergibt sich ein Vorteil:

Die Elastizität des Meßkörpers ist frei wählbar. Sie kann im Bereich des verwendeten Metalls liegen oder durch eine Federkonstruktion beträchtlich erhöht werden. Dadurch wird aus dem steifen KMS-Sensor ein nachgiebiger bzw. weicher Sensor. Diese Eigenschaft bringt in bestimmten Anwendungen Vorteile mit sich:

- Wird der Sensor als Führungssensor im Master-Slave-Betrieb (MSB) von Robotern verwendet, so kann der Bediener (Master) den Masterroboter gefühlvoller führen, als mit einem steifen Sensor.
- Der weiche KMS-Sensor kann als Füge- oder Montagesensor verwendet werden, d. h. durch die Nachgiebigkeit des Sensors wird ein Verkanten beim Fügen eines Bauteils verhindert.
- Eine Erhöhung der Elastizität bringt für das Regelungsverhalten des kraft-/positionsgesteuerten Roboters eine Verbesserung mit sich.
- Etwaige Stöße auf den Sensor werden durch die Nachgiebigkeit gedämpft.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Kraft-Momenten-Sensor, KMS
- 2 Basis, Platte
- 3 Plattform, Platte
- 4 Stab
- 4a Kraftmeßdose
- 6 Gelenkkopf
- B<sub>i</sub> Lagerpunkt
- P<sub>i</sub> Lagerpunkt
- 7 Achse, Lagerachse
- R<sub>x</sub>, R<sub>y</sub>, R<sub>z</sub> Kräfte im kartesischen Koordinatensystem
- M<sub>x</sub>, M<sub>y</sub>, M<sub>z</sub> Momente im Koordinatensystem
- 8 Sensorachse
- 10 Zylinder
- 11 Zylinder
- 12 Ringspalt
- 13 Bohrungen
- 14 Bolzen
- 15 Kreis
- 16 Ausgleichstück
- x, y, z Kartesisches Koordinatensystem
- D<sub>B</sub> Dreieck, Basisdreieck
- D<sub>P</sub> Dreieck, Plattfordreieck
- h Abstand

#### Patentansprüche

1. Kraft-Momenten-Sensor (KMS), bestehend aus zwei im kräftefreien Zustand zueinander parallelen, auf

einer gemeinsamen Achse liegenden starren Platten mit vorbestimmtem Abstand zueinander, die elastomechanisch gekoppelt sind und an dieser elastomechanischen Kopplung Meßgeber angebracht sind, die ein zur Länge des jeweiligen Meßgeber proportionales elektrisches Signal abgeben können, wobei die Meßgeber derart angebracht sind, daß eine beliebige Kraft- und Momentwirkung auf die Platten erfaßt werden kann, gekennzeichnet durch die Merkmale, daß

- die elastomechanische Kopplung zwischen den Platten (2, 3) aus sechs in unbelastetem Zustand gleichlangen elastischen Stäben (4) besteht;
  - ein solcher Stab (4) mit seinem ersten Ende von einem Lagerpunkt ( $B_i$ ) auf einem zur Z-Achse konzentrischen Kreis der einen Platte (2) der Basis, auf einen Lagerpunkt ( $P_i$ ) auf einem zur Achse konzentrischen Kreis desselben Durchmessers auf der anderen Platte (3), der Plattform, führt, dort mit seinem zweiten Ende gelagert ist und von einem unmittelbar benachbarten Lagerpunkt ( $P_{i+1}$ ) ein nächster Stab wieder in derselben Art zur anderen Platte (2) führt, bis der letzte Stab (4) mit seinem zweiten Ende am ersten Lagerpunkt ( $B_i$ ) unmittelbar benachbart gelagert ist und dadurch auf jeder Platte (2, 3) drei Lagerpunktpaare bestehen, die auf den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegen, dessen Schwerpunkt sich auf der zugehörigen Plattenachse befindet, wobei im unbelasteten Zustand die beiden Dreiecke um sechzig Grad gegeneinander verdreht sind;
  - die Stäbe (4) in ihren jeweils beiden Lagerpunkten ( $B_i$ ,  $P_i$ ) so gelagert sind, daß nur Kräfte in Richtung der jeweiligen Stabachse (8) auf die zugehörigen Lager übertragen werden;
  - die Stäbe (4) einzeln austausch- und ersetzbar sind, ohne den Kraft-Momenten-Sensor (1) überhaupt eichen zu müssen;
  - der modulare Aufbau des KMS (1) und die bekannten gleichen Eigenschaften der Stäbe (4) über eine rechnerisch ermittelte Koppelmatrix C zwischen Krafteinwirkung auf die Platten (2, 3) und Dehnung infolge in den Stäben (4) die elastomechanischen Eigenschaften des KMS (1) angebar sind, wodurch sich eine Eichung mit Normkräften erübrigt.
2. KMS nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stäbe (4) an ihrem Ende in den Lagerpunkten ( $B_i$ ,  $P_i$ ) frei drehbar gelagert sind.
3. KMS nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die geeignet geformten Stäbe (4) an signifikanter Stelle zur Messung der longitudinalen Dehnung mit Dehnmeßstreifen versehen sind.
4. KMS nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Aufbau eines solchen Stabes (4) aus zwei Gelenkköpfen (6) besteht, die durch eine Kraftmeßdose (4a) vorbestimmter Elastizität miteinander verbunden sind.
5. KMS nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Kraftaufnehmer ein pleuelstangenförmiger Stab ist, dessen Enden mit je einem Gelenklager versehen sind und bei dem Längenänderungen über Dehnmeßstreifen, die am Stab angebracht sind, detektiert werden.
6. KMS nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein solcher Stab (4) aus einer axial geführten Feder mit vorgegebenen mechanischen Eigenschaften besteht.
7. KMS nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein solcher Stab (4) zusätzlich eine Dämpfungseinrichtung in axialer Richtung hat.
8. KMS nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zu jedem Stab (4) eine ohmsche Längenmeßeinrichtung angebracht ist.
9. KMS nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zu jedem Stab (4) eine induktive Längenmeßeinrichtung angebracht ist.
10. KMS nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß parallel zu jedem Stab (4) eine kapazitive Meßeinrichtung besteht.
11. KMS nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß entlang eines jeden Stabes (4) eine Längenmeßeinrichtung nach dem Wirbelstromprinzip angebracht ist.
12. KMS nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß entlang den Stäben angebrachte Glasfasersensoren die Längenänderung im Einweg oder Reflexbetrieb erfassen.
13. KMS nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwertgeber an oder entlang der Stäbe an einen Rechner angeschlossen sind.
14. KMS nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Überlastschutz eingebaut ist, der aus zwei sich überlappenden Zylindern (10, 11) besteht, die jeweils mit einer Platte (2, 3) starr verbunden sind und gleichverteilt um den Umfang des äußeren Zylinders mindestens drei Bolzen (14) paßgenau und radial eingelassen haben, die mit ihren Ende in den inneren Zylinder (10) ragen und dort jeweils ein vorgegebenes Spiel haben.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

Fig. 1

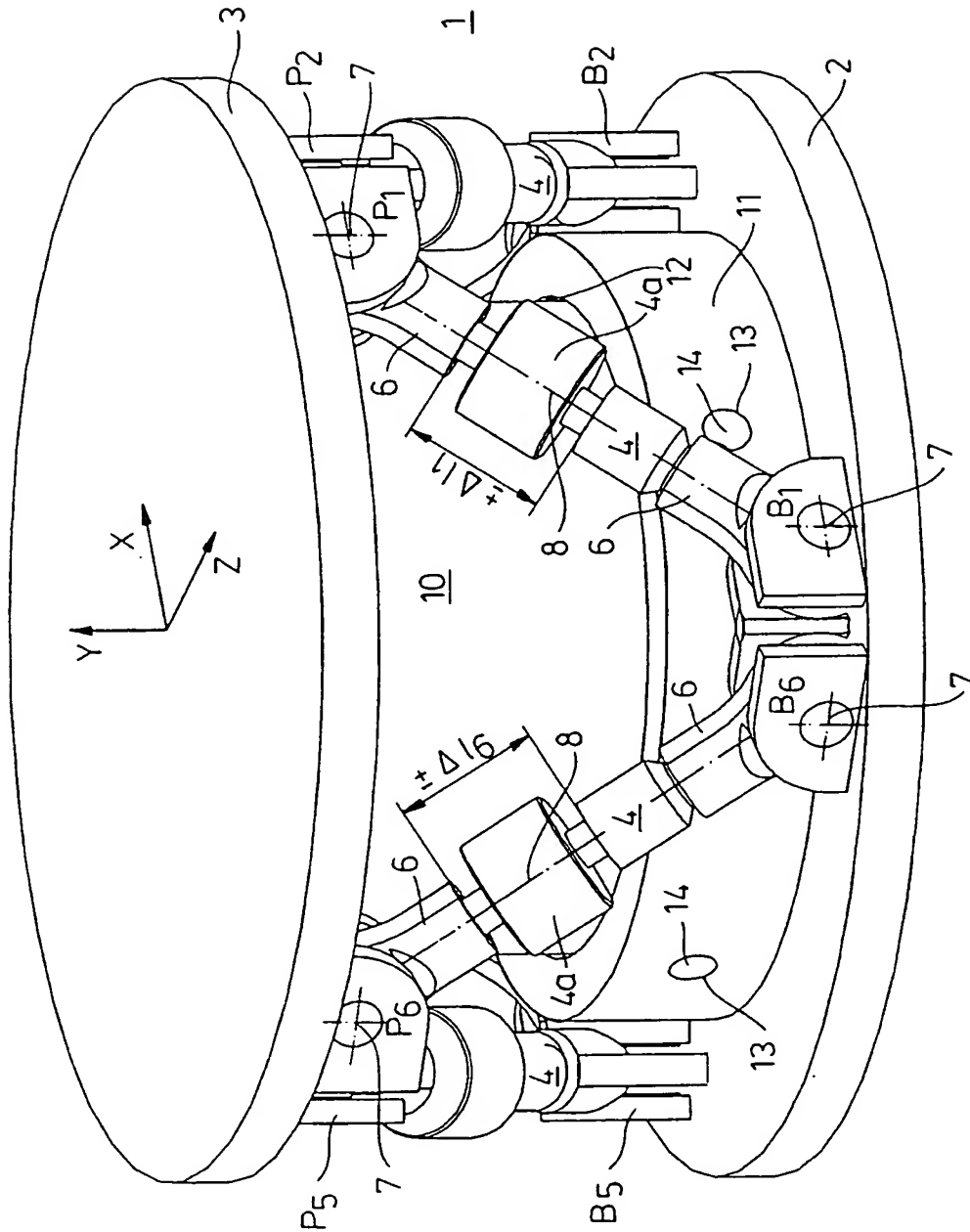


Fig. 2

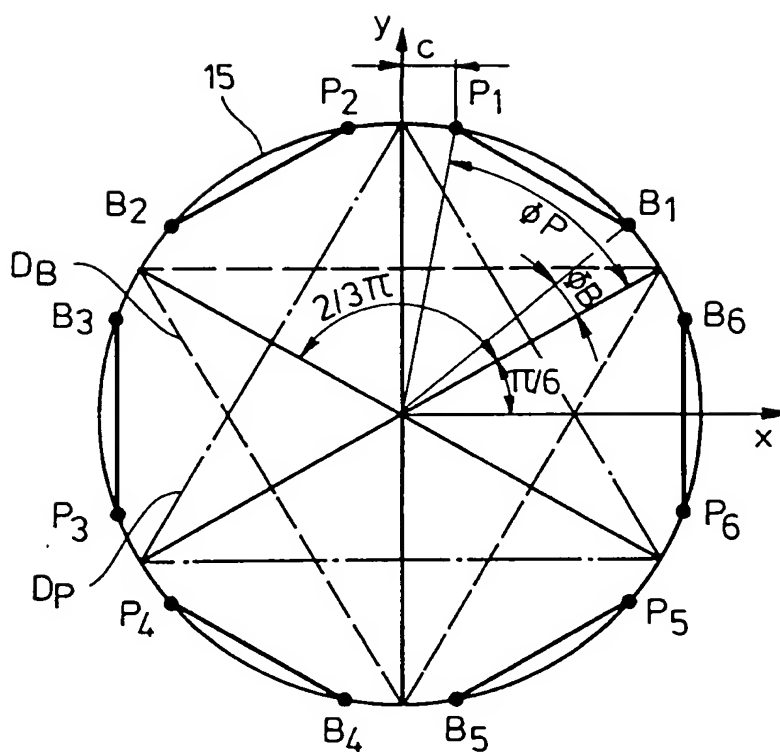




Fig. 3

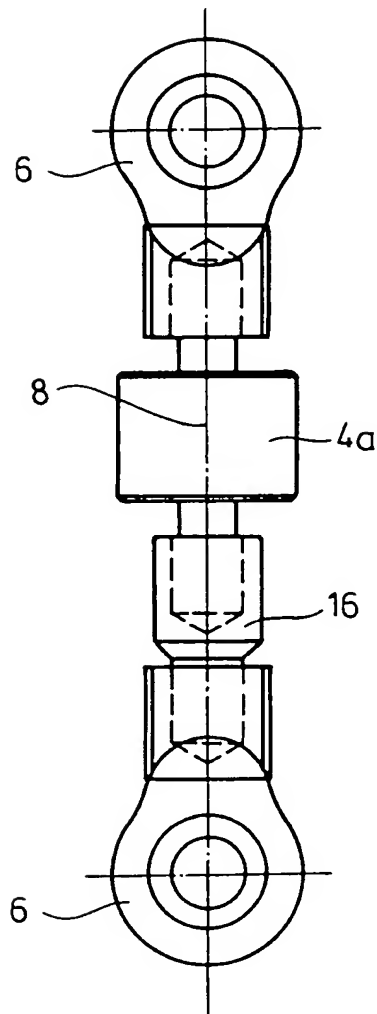


Fig. 4

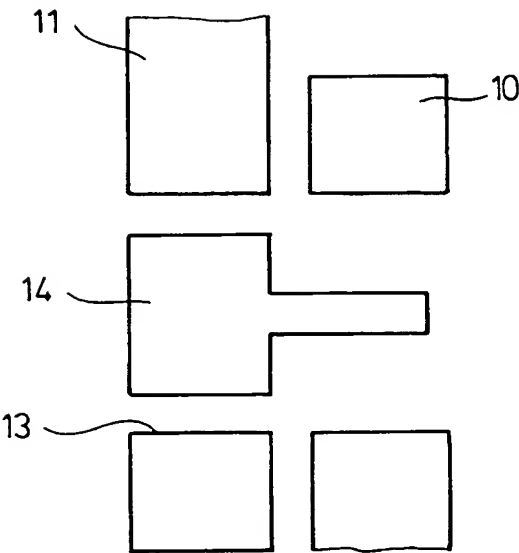


Fig. 5

